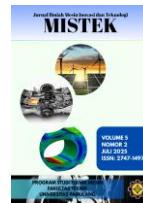




JURNAL TEKNIK MESIN

MISTEK

MESIN INOVASI DAN TEKNOLOGI



RANCANG BANGUN MESIN PENYEMPROTAN CAT OTOMATIS MENGGUNAKAN SCADA (SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION) DAN PLC (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL)

Akmal Zaid¹, Nur Rohmat²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail: akmalzaid28@gmail.com¹

Masuk : 14 April 2025

Direvisi : 19 Mei 2025

Disetujui : 09 Juni 2025

Abstrak: Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun mesin penyemprotan cat otomatis berbasis *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) dan *Programmable Logic Controller* (PLC) untuk meningkatkan produktivitas serta efisiensi biaya proses pengecatan. Tahapan penelitian meliputi perancangan kerangka, perakitan sistem mekanik–pneumatik–elektrik, pemrograman PLC menggunakan *CX-Programmer*, perancangan antarmuka operasi otomatis dan manual pada *NB-Designer* yang diunggah ke *Human Machine Interface* (HMI), serta integrasi dan simulasi melalui SCADA. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali percobaan dengan interval 5 menit untuk mengukur keluaran media pengecatan dan kebutuhan arus listrik. Hasil menunjukkan mesin otomatis menghasilkan 4 media setiap 5 menit (120 media/150 menit) dan setara luas pengecatan $487.526,4 \text{ cm}^2$ per hari (8 jam), lebih tinggi dibandingkan metode konvensional sebesar 176.148 cm^2 per hari. Rata-rata arus listrik mesin sebesar 3,25 A pada tegangan 220 V dengan konsumsi energi 0,715 kWh per jam. Biaya listrik mesin otomatis sebesar Rp2.402,4 per hari (Rp72.072 per bulan), sedangkan biaya operasional pengecatan konvensional (upah dan cat) mencapai Rp2.683.333,3 per hari (Rp80.499.999 per bulan). Biaya pembuatan mesin otomatis sebesar Rp27.500.000, sementara peralatan konvensional sebesar Rp1.700.000. Temuan ini menunjukkan sistem otomasi berbasis PLC–HMI–SCADA berpotensi meningkatkan produktivitas dan menekan biaya operasional pengecatan secara signifikan.

Kata Kunci: Mesin Penyemprotan Cat Otomatis, *PLC*, *SCADA*, *HMI*, Produktivitas, Konsumsi Listrik, Analisis Biaya.

Abstract: This study aims to design and develop an automatic paint spraying machine based on *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) and a *Programmable Logic Controller* (PLC) to improve productivity and operational cost efficiency in painting processes. The research stages included frame design, mechanical–pneumatic–electrical assembly, PLC programming using *CX-Programmer*, development of automatic and manual operation interfaces in *NB-Designer* deployed to a *Human Machine Interface* (HMI), and system integration and simulation via SCADA. Performance testing was conducted in 30 trials with 5-minute intervals to evaluate painted media output and electrical current demand. The results indicate that the automated system produced 4 media per 5 minutes (120 media/150 minutes) and achieved an equivalent painted area of $487,526.4 \text{ cm}^2$ per day (8 hours), exceeding the conventional method which reached $176,148 \text{ cm}^2$ per day. The machine required an average current of 3.25 A at 220 V, corresponding to an energy consumption of 0.715 kWh per hour. The daily electricity cost was Rp2,402.4 (Rp72,072 per month), whereas the conventional method (labor and paint costs) reached Rp2,683,333.3 per day (Rp80,499,999 per month). The initial fabrication cost of the automated machine was Rp27,500,000, while conventional equipment cost Rp1,700,000. These findings suggest that PLC–HMI–SCADA-based automation can substantially increase painting productivity and reduce operating costs.

Keywords: Automatic Paint Spraying Machine, *PLC*, *SCADA*, *HMI*, Productivity, Electricity Consumption, Cost Analysis.

PENDAHULUAN

Cat merupakan salah satu produk yang sangat umum digunakan oleh masyarakat karena aplikasinya yang luas pada berbagai jenis objek. Sebagai pelapis permukaan, cat berfungsi melindungi material sekaligus memberikan warna yang dapat meningkatkan nilai keindahan objek yang dilapisi [1]. Penggunaan cat mencakup berbagai bidang, seperti perlindungan terhadap korosi atau kerusakan akibat air, pelapisan pada sektor industri, serta aplikasi pada perabot rumah

tangga, material logam, kayu, dan dinding [2]. Pemanfaatan robot dalam proses pengecatan bertujuan untuk meningkatkan keselamatan dan keamanan tenaga kerja, khususnya saat pengecatan *body*, serta meminimalkan risiko kecelakaan kerja sehingga produktivitas dapat ditingkatkan [3], [4].

Programmable Logic Controller (PLC) adalah sistem elektronika digital yang dikembangkan untuk mengendalikan mesin melalui penerapan fungsi kendali sekuensial, pengaturan waktu (*timing*), proses pencacahan (*counting*), dan operasi aritmatika. Secara prinsip, PLC merupakan komputer digital yang terdiri atas *processor*, memori, unit kontrol, dan unit *input/output* (I/O). Perbedaannya dengan komputer konvensional terletak pada desain dan fungsinya, yaitu PLC dirancang untuk bekerja pada lingkungan industri yang keras, mudah dioperasikan dan dirawat oleh teknisi, serta umumnya tidak menggunakan monitor, melainkan *peripheral port* untuk pemrograman dan pemantauan sistem [5], [6].

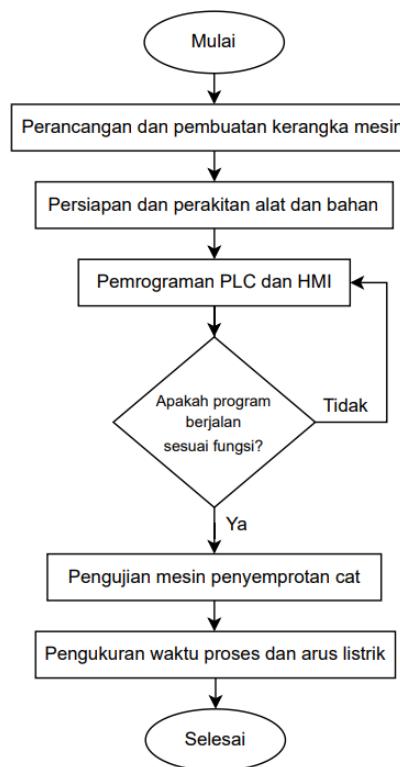
Metode pengecatan konvensional masih banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan, seperti biaya operasional yang rendah, hasil pengecatan yang cukup memadai, serta penggunaan peralatan yang relatif sederhana. Akan tetapi, metode ini juga memiliki keterbatasan, terutama dalam pengecatan pada area sudut yang sulit dijangkau secara optimal akibat turbulensi berlebih yang disebabkan oleh tekanan udara [7], [8].

METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang disusun secara sistematis, mulai dari tahap perancangan hingga tahap pengujian alat. Tahapan penelitian bertujuan untuk memastikan bahwa mesin penyemprotan cat otomatis dapat berfungsi sesuai dengan perancangan dan spesifikasi yang telah ditetapkan.

Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian diawali dengan tahap perancangan, yaitu pembuatan sketsa kerangka mesin pada kertas sebagai dasar desain. Setelah rancangan awal disusun, dilakukan tahap persiapan alat dan bahan sesuai kebutuhan sistem, mencakup komponen mekanik, pneumatik, serta komponen kendali. Tahap berikutnya adalah implementasi rancangan secara nyata melalui pembuatan kerangka dan perakitan komponen, diikuti penyusunan material serta pemasangan perangkat utama seperti PLC, HMI, kompresor, tabung media cat, dan *spray gun*.

Setelah perakitan selesai, penelitian dilanjutkan pada tahap pengembangan sistem kendali. Pada tahap ini, logika kontrol diprogram menggunakan *CX-Programmer* kemudian ditransfer ke PLC sebagai pengendali utama.

Selanjutnya, mode operasi otomatis dan manual dirancang pada *NB-Designer* dan diunggah ke HMI agar operator dapat menjalankan perintah sistem secara lebih mudah dan terstruktur. Tahap integrasi dan simulasi kemudian dilakukan menggunakan *SCADA* untuk memastikan program berjalan sesuai urutan proses, termasuk verifikasi fungsi kontrol, respons aktuator, serta keterbacaan parameter monitoring.

Tahap pengujian dimulai dengan pengaturan kecepatan dan penentuan nilai aktual pada *CX-Programmer* sesuai kebutuhan proses pengecatan. Selanjutnya, media cat disiapkan pada tabung, kemudian kran/valve pada *spray gun* diatur agar keluaran cat dapat berlangsung stabil dan optimal. Kompresor dioperasikan dengan memastikan tekanan tidak melampaui batas kerja yang ditentukan oleh spesifikasi kompresor. Setelah seluruh prasyarat terpenuhi, sistem dijalankan dan diamati waktu aktual untuk menyelesaikan pengecatan pada satu media tabung. Ketika mesin telah beroperasi stabil, dilakukan pengukuran arus listrik dengan mengambil nilai rata-rata arus (Ampere) selama proses pengecatan untuk memperoleh data konsumsi listrik sebagai bagian dari evaluasi kinerja alat

Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan seperangkat perangkat keras dan perangkat lunak untuk membangun serta menguji mesin penyemprotan cat otomatis berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC), *Human Machine Interface* (HMI), dan *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). Perangkat keras utama meliputi PLC sebagai pengendali sistem, HMI sebagai antarmuka operator untuk mode otomatis dan manual, serta kompresor udara sebagai sumber tekanan untuk proses penyemprotan. Proses aplikasi cat dilakukan menggunakan *spray gun* yang dilengkapi kran/valve pengatur keluaran cat, serta tabung sebagai media penampung cat yang digunakan selama pengujian. Untuk membentuk struktur mekanik, digunakan material kerangka dan komponen pendukung perakitan sesuai rancangan, termasuk elemen pengikat dan konektor yang diperlukan agar sistem mekanik dan pneumatik terpasang stabil. Selain itu, digunakan instrumen pengukuran arus listrik (Ampere) untuk memperoleh data konsumsi arus selama proses pengecatan, serta alat bantu perakitan dan pengukuran dimensi untuk memastikan kesesuaian antara rancangan dan implementasi.

Pada sisi perangkat lunak, pemrograman PLC dilakukan menggunakan *CX-Programmer* untuk menyusun logika kendali, pengaturan kecepatan, dan parameter aktual. Antarmuka operasi otomatis dan manual dirancang menggunakan *NB-Designer* lalu ditransfer ke HMI untuk memudahkan operator menjalankan sistem. Simulasi serta pemantauan jalannya program dilakukan melalui sistem *SCADA* untuk memastikan integrasi kontrol dan monitoring berjalan sesuai kebutuhan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Mesin Penyemprotan Cat Otomatis

Pengujian mesin penyemprotan cat otomatis dilakukan sebanyak 30 kali percobaan dengan interval waktu setiap 5 menit. Pada setiap interval, mesin mampu menghasilkan empat media pengecatan secara konsisten. Dengan demikian, total media yang dihasilkan selama pengujian adalah 120 media dalam waktu operasi 150 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem kendali berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) yang terintegrasi dengan *Human Machine Interface* (HMI) dan *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) mampu menjaga kestabilan proses produksi selama pengujian berlangsung.

Jika dikonversikan ke waktu kerja harian selama 8 jam, mesin penyemprotan cat otomatis mampu menghasilkan luas permukaan pengecatan sebesar 487.526,4 cm² per hari. Nilai ini diperoleh dari akumulasi hasil pengecatan yang dicapai selama proses pengujian dan disesuaikan dengan durasi kerja standar harian.

Tabel 1. Hasil Produksi Mesin Penyemprotan Cat Otomatis

Parameter	Nilai
Jumlah percobaan	30 kali
Interval waktu	5 menit
Total waktu pengujian	150 menit
Jumlah media per interval	4 media
Total media yang dihasilkan	120 media
Luas pengecatan per hari (8 jam)	487.526,4 cm ²

Selain produktivitas, konsumsi energi listrik juga menjadi parameter penting dalam pengujian mesin otomatis. Berdasarkan hasil pengukuran arus listrik selama 30 kali percobaan, diperoleh nilai arus rata-rata sebesar 3,25 A. Dengan tegangan kerja 220 V, konsumsi daya listrik mesin dihitung sebesar 0,715 kWh per jam. Nilai ini digunakan sebagai dasar perhitungan biaya operasional listrik mesin penyemprotan cat otomatis.

Tabel 2. Konsumsi Arus dan Daya Listrik Mesin Otomatis

Parameter	Nilai
Tegangan kerja	220 V
Arus rata-rata	3,25 A
Daya listrik	0,715 kWh/jam
Waktu operasi harian	8 jam
Konsumsi energi harian	5,72 kWh

Hasil Pengujian Pengecatan Konvensional

Pengujian pada metode pengecatan konvensional dilakukan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari praktik pengecatan manual di lapangan. Pada metode ini, proses pengecatan menghasilkan satu media setiap 30 menit dengan luas permukaan pengecatan sebesar 8.388 cm². Dalam durasi waktu yang setara dengan pengujian mesin otomatis, yaitu 150 menit, metode konvensional hanya mampu menghasilkan lima media dengan total luas permukaan pengecatan sebesar 41.940 cm².

Jika dikonversikan ke dalam waktu kerja harian selama 8 jam, metode pengecatan konvensional menghasilkan luas permukaan pengecatan sebesar 176.148 cm² per hari. Hasil ini menunjukkan bahwa produktivitas metode konvensional jauh lebih rendah dibandingkan dengan mesin penyemprotan cat otomatis.

Tabel 3. Hasil Produksi Pengecatan Konvensional

Parameter	Nilai
Media per 30 menit	1 media
Luas per media	8.388 cm ²
Media per hari (8 jam)	21 media
Luas pengecatan per hari	176.148 cm ²

Pembahasan Analisis Biaya Operasional

Dari sisi biaya operasional, mesin penyemprotan cat otomatis hanya memerlukan biaya listrik sebagai komponen biaya utama. Berdasarkan tarif listrik PLN sebesar Rp420/kWh, biaya listrik mesin otomatis adalah Rp300,3 per jam. Dengan asumsi waktu kerja 8 jam per hari, biaya listrik yang dibutuhkan sebesar Rp2.402,4 per hari atau Rp72.072 per bulan.

Tabel 4. Konsumsi Arus dan Daya Listrik Mesin Otomatis

Parameter	Nilai
Tarif listrik	Rp420/kWh
Biaya listrik per jam	Rp300,30
Biaya listrik per hari (8 jam)	Rp2.402,40
Biaya listrik per bulan	Rp72.072

Sebaliknya, pada metode pengecatan konvensional, biaya operasional terdiri dari biaya upah tenaga kerja dan biaya cat. Dengan upah tenaga kerja sebesar Rp2.500.000 per bulan atau Rp83.333,3 per hari, serta konsumsi cat sebesar 250 ml setiap 30 menit dengan harga Rp650.000 per liter, total biaya cat dalam 8 jam kerja mencapai Rp2.600.000 per hari. Dengan demikian, total biaya operasional pengecatan konvensional adalah Rp2.683.333,3 per hari atau Rp80.499.999 per bulan.

Tabel 5. Biaya Operasional Pengecatan Konvensional

Komponen Biaya	Nilai
Upah tenaga kerja per hari	Rp83.333,30
Konsumsi cat per 30 menit	0,25 L
Harga cat per liter	Rp650.000
Biaya cat per hari	Rp2.600.000
Total biaya per hari	Rp2.683.333,30
Total biaya per bulan	Rp80.499.999

Pembahasan Perbandingan Produktivitas

Perbandingan antara kedua metode menunjukkan perbedaan produktivitas yang signifikan. Mesin penyemprotan cat otomatis mampu menghasilkan luas pengecatan harian sebesar 487.526,4 cm², sedangkan metode konvensional hanya mencapai 176.148 cm². Dengan demikian, produktivitas mesin otomatis hampir tiga kali lipat lebih tinggi dibandingkan pengecatan konvensional dalam durasi kerja yang sama.

Tabel 6. Perbandingan Mesin Otomatis dan Pengecatan Konvensional

Parameter	Mesin Otomatis	Konvensional
Luas pengecatan per hari	487.526,4 cm ²	176.148 cm ²
Biaya operasional per hari	Rp2.402,40	Rp2.683.333,30
Biaya operasional per bulan	Rp72.072	Rp80.499.999
Sistem kerja	Otomatis (PLC–HMI–SCADA)	Manual
Ketergantungan tenaga kerja	Rendah	Tinggi

Peningkatan produktivitas ini disebabkan oleh sistem kendali otomatis yang mampu menjaga kecepatan dan kestabilan proses pengecatan, serta meminimalkan ketergantungan pada faktor manusia. Selain itu, sistem otomatis memungkinkan proses berjalan secara kontinu tanpa jeda yang signifikan, berbeda dengan metode konvensional yang sangat bergantung pada keterampilan dan kondisi fisik operator.

Pembahasan Efisiensi Biaya dan Investasi

Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun biaya pembuatan mesin penyemprotan cat otomatis relatif tinggi, yaitu sebesar Rp27.500.000, biaya operasional harinya jauh lebih rendah dibandingkan metode konvensional. Sementara itu, biaya pembelian peralatan pengecatan konvensional hanya sebesar Rp1.700.000, namun diikuti oleh biaya operasional yang sangat besar akibat penggunaan tenaga kerja dan konsumsi cat yang tinggi.

Tabel 7. Biaya Investasi Awal

Jenis Sistem	Biaya
Mesin cat otomatis	Rp27.500.000
Alat cat konvensional	Rp1.700.000

Dengan mempertimbangkan produktivitas dan biaya operasional, mesin penyemprotan cat otomatis memiliki potensi efisiensi biaya yang signifikan dalam jangka menengah hingga panjang. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan sistem otomasi berbasis PLC, HMI, dan SCADA layak dipertimbangkan sebagai solusi peningkatan efisiensi dan produktivitas pada proses pengecatan industri.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Mesin penyemprotan cat otomatis berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC), *Human Machine Interface* (HMI), dan *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) berhasil dirancang dan dioperasikan sesuai dengan fungsi yang direncanakan.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin otomatis menghasilkan produktivitas pengecatan yang lebih tinggi, yaitu luas pengecatan sebesar 487.526,4 cm² per hari, dibandingkan dengan metode pengecatan konvensional yang hanya mencapai 176.148 cm² per hari.
3. Konsumsi energi listrik mesin otomatis relatif rendah dengan arus rata-rata 3,25 A pada tegangan 220 V, sehingga kebutuhan energi sebesar 0,715 kWh per jam.
4. Biaya operasional mesin penyemprotan cat otomatis hanya sebesar Rp2.402,4 per hari atau Rp72.072 per bulan, yang jauh lebih efisien dibandingkan biaya operasional pengecatan konvensional sebesar Rp2.683.333,3 per hari atau Rp80.499.999 per bulan.
5. Meskipun biaya investasi awal mesin penyemprotan cat otomatis lebih tinggi, yaitu Rp27.500.000, dibandingkan peralatan pengecatan konvensional sebesar Rp1.700.000, mesin otomatis memiliki potensi efisiensi dan produktivitas yang lebih baik dalam jangka menengah hingga panjang.
6. Penerapan sistem otomasi pengecatan berbasis PLC–HMI–SCADA dapat menjadi solusi untuk meningkatkan efisiensi kerja, mengurangi ketergantungan pada tenaga manusia, serta meningkatkan keselamatan dan kestabilan proses pengecatan.

Pengembangan lanjutan disarankan untuk menambahkan analisis *payback period* serta pengujian pada variasi jenis dan viskositas cat guna mengevaluasi kinerja mesin penyemprotan cat otomatis dalam kondisi operasional yang lebih beragam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. A. Gabbar and M. Idrees, “ARSIP: Automated Robotic System for Industrial Painting,” *Technologies*, vol. 12, no. 2. p. 27, 2024. doi: <https://doi.org/10.3390/technologies12020027>.
- [2] Q. Ma, Q. Yang, J. Zhang, F. Ren, C. Xia, and F. Chen, “Anti-corrosion properties of bio-inspired surfaces: a

systematic review of recent research developments," *Mater. Adv.*, vol. 5, pp. 2689–2718, 2024, doi: <https://doi.org/10.1039/D3MA01058A>.

[3] M. K. Shin, H. Qian, J.-E. Lee, L. Sentsis, and S. I. Maberti, "Estimating exposures from spray products using robotic simulations," *Ann. Work Expo. Heal.*, vol. 67, no. 8, pp. 979–989, Oct. 2023, doi: <https://doi.org/10.1093/annweh/wxad049>.

[4] E. Heinold, M. Funk, S. Niehaus, P. H. Rosen, and S. Wischniewski, "OSH related risks and opportunities for industrial human-robot interaction: results from literature and practice," *Front. Robot. AI*, vol. 10, p. 1277360, 2023, doi: <https://doi.org/10.3389/frobt.2023.1277360>.

[5] B. Herdiana, E. B. Setiawan, and U. Sartoyo, "Tinjauan Komprehensif Evolusi, Aplikasi, dan Tren Masa Depan Programmable Logic Controllers (A Comprehensive Review of the Evolution, Applications, and Future Trends of Programmable Logic Controllers)," *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 11, no. 2, pp. 102–116, 2023, doi: <https://doi.org/10.34010/telekontran.v11i2.12896>.

[6] K.-C. Yao, C.-L. Lin, and C.-H. Pan, "Industrial Sustainable Development: The Development Trend of Programmable Logic Controller Technology," *Sustainability*, vol. 16, no. 14. p. 6230, 2024. doi: <https://doi.org/10.3390/su16146230>.

[7] X. Xie and Y. Wang, "Research on Distribution Properties of Coating Film Thickness from Air Spraying Gun-Based on Numerical Simulation," *Coatings*, vol. 9, no. 11. p. 721, 2019. doi: <https://doi.org/10.3390/coatings9110721>.

[8] N. Almansoori, S. Aldulaijan, S. Althani, N. M. Hassan, M. Ndiaye, and M. Awad, "Manual spray painting process optimization using Taguchi robust design," *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 38, no. 1, pp. 46–67, Mar. 2020, doi: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2019-0248>.